

А. Г. Титов, З. Р. Гильванова,  
Е. А. Шевченко, М. К. Маснавиев, А. А. Бир

Уральский федеральный университет  
620002 Екатеринбург, ул. Мира, 28.  
E-mail: paht@yandex.ru

## Количественная оценка вторичного уноса в электроциклоне\*

Статья посвящена исследованию вторичного уноса – паразитного явления, возникающего в газоочистных устройствах, – электроциклонах. Показано, что вторичный унос возникает при скоростях аэрозоля от 14 до 27 м/с. Определены количественные характеристики вторичного уноса.

**Ключевые слова:** исследование вторичного уноса, электроциклон, газоочистные устройства, орошение осадительного электрода.

\*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14–08–00046а.

© Титов А. Г., Гильванова З. Р., Шевченко Е. А., Маснавиев М. К., Бир А. А., 2015

### Введение

Улавливание пылевидных материалов на химических предприятиях является актуальной задачей [1]. Существует проблема тонкой очистки больших объемов газов от дисперсных частиц. Применяемые в настоящее время многопольные пластинчатые электрофильтры сравнительно дороги, громоздки и не обеспечивают требуемую высокую степень очистки 99,5–99,7 %. Мокрая очистка газов в эмульгаторах затрудняет утилизацию продукта, т. к. требуется его выделение из пульпы и последующая сушка. Для этого требуются большие затраты тепла. Также актуальна задача разработки высокоэффективного оборудования для очистки больших объемов

газов (сотни тыс. м<sup>3</sup>/ч) с получением продукта в сухом виде [2].

Вторичный унос при пылеулавливании – паразитное явление. Он зависит от дисперсности материала, скорости потока газа, напряжения на электродах, конструктивных особенностей аппаратов и др. Представляет научный и практический интерес выявление зависимости эффективности работы электроциклона от указанных факторов [3].

Ранее экспериментально было показано [4], что степень очистки газа снижается при увеличении скорости аэрозоля на входе в электроциклон свыше 15–17 м/с. При увеличении скорости газа в активной зоне возрастает

центробежная сила, что благоприятствует осаждению частиц, но при постоянной длине аппарата время пребывания аэрозоля в активной зоне аппарата уменьшается, снижается эффективность зарядки частиц, увеличивается унос золы. Это является следствием

того, что частицы не успевают осесть на осадительный электрод. Вторичный унос увеличивается, т. к. уже осевшие частицы, особенно мелкие, выбиваются из слоя осадка крупными частицами и турбулентными вихрями.

### Экспериментальная часть

Чтобы оценить степень влияния времени пребывания газового потока в аппарате и вторичного уноса на снижение эффективности улавливания частиц в электроциклоне, требуется исключить один из факторов. Для исключения вторичного уноса необходимо орошать осадительный электрод пленкой воды (мокрый режим работы). Тогда частицы, коснувшиеся пленки воды, не смогут вернуться обратно в поток газа, а будут необратимо удаляться из активной зоны. Были проведены эксперименты в сухом и мокром режиме работы электроциклона.

Для проведения исследований была использована лабораторная экспери-

ментальная установка (стенд), показанная на рис. 1.

Исследуемый материал пылеподатчиком 2 подавался в дезагрегированном виде по входной трубе 7 в электроциклон 1. Уловленная зола собиралась в бункере электроциклона 1, а очищенный воздух по воздуховоду удалялся через рукавный фильтр 6 в атмосферу.

Для проведения опытов с орошением описанный выше электроциклон дополнялся системой орошения и удаления пульпы (рис. 2).

Для орошения осадительного электрода электроциклона 1 применялась расположенная в улитке ирригационная система, состоявшая из распре-

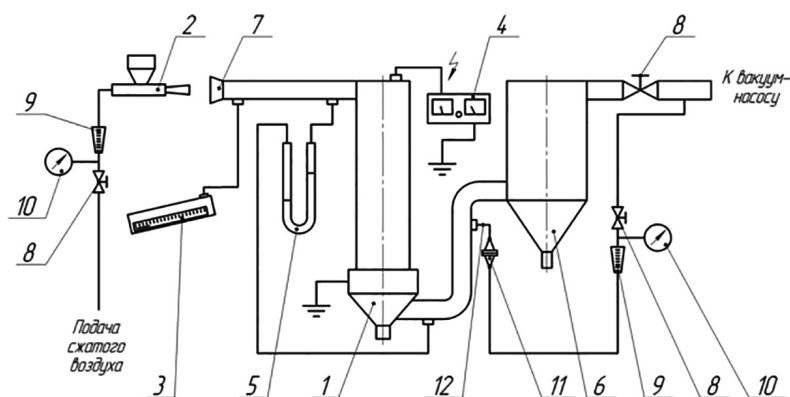


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: электроциклон – 1, пылеподатчик – 2, тягонапоромер ТНЖ – 3, источник высокого напряжения (модель ИВНР-20–10) – 4, U-образную трубку для определения гидравлического сопротивления электроциклона – 5, рукавный фильтр – 6, подводящую трубу с коллектором – 7, вентили – 8, ротаметры – 9, манометры – 10, фильтродержатель (типа ИРА-20–2) – 11, проботоотборную трубку – 12

делительного кольца 2 и подающих трубок 3. Суспензия из бункера 4 удалялась через гидрозатвор 5 в montage 6. Равномерное орошение стенки при поступательно-вращательном движении газа достигалось при расходе воды 8 л/мин.

### Результаты и обсуждение

В экспериментах по улавливанию золы в мокром режиме вторичный унос был полностью исключен, вместе с тем наблюдалось неполное улавливание золы, которое можно объяснить недозарядкой частиц и активным турбулентным перемешиванием потока.

Величину уноса можно представить как  $(1 - \eta) \cdot 100 \%$ , что позволило оценить значения уноса в единицах степени очистки. Зависимость величины уноса от скорости при фиксированной концентрации золы  $16,5 \text{ г/м}^3$  показана на рис. 3.

На рис. 3 видно, что в мокром режиме при  $U = 17 \text{ кВ}$  (электроциклонный режим) унос составляет менее 1 %, при снижении напряжения до  $U = 0 \text{ кВ}$

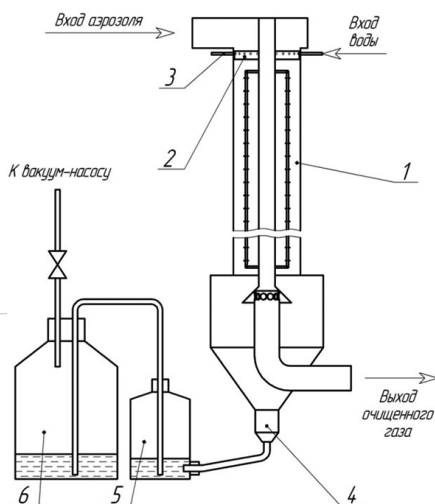


Рис. 2. Схема электроциклона для работы в мокром режиме: 1 – электроциклон, 2 – распределительное кольцо, 3 – подающие трубки, 4 – бункер, 5 – гидрозатвор, 6 – montage

(циклонный режим) унос достигает 5–7 %, тогда как унос в сухом режиме при  $U = 17 \text{ кВ}$  имеет значения 12–25 %.

По данным эксперимента также были рассчитаны значения вторичного уноса как разница между степенью очистки в мокром и сухом режиме для

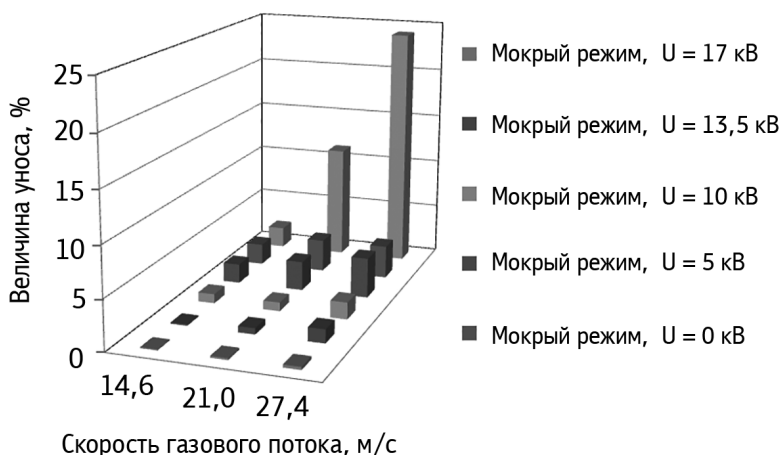


Рис. 3. Зависимость величины уноса от скорости газового потока при различных режимах работы электроциклона

соответствующих точек плана. Зависимость величины вторичного уноса от входной скорости и концентрации аэрозоля золы показана на рис. 4.

На рис. 4 видно, что вторичный унос варьирует в интервале от 5 до 35 %, наибольшие значения наблюдаются при скоростях газа более 21 м/с. Среднее значение вторичного уноса составляет 10–15 %, что существенно выше уноса, вызванного недозарядкой. Таким образом, вторичный унос снижает эффективность улавливания золы в электроциклоне на 5–35 % при скоростях аэрозоля 14,6–27,4 м/с, соответственно увеличивая пылеунос в 10–50 раз.

### Выводы

Вторичный унос наблюдается в электроциклоне при критической скорости аэрозоля на входе свыше 14–16 м/с, что зависит от концентрации и свойств пыли.

Вторичный унос практически полностью ликвидируется путем орошения осадительного электрода пленкой воды, степень очистки при этом выше 95 % без подачи напряжения на коронирующий электрод и выше 99 % при

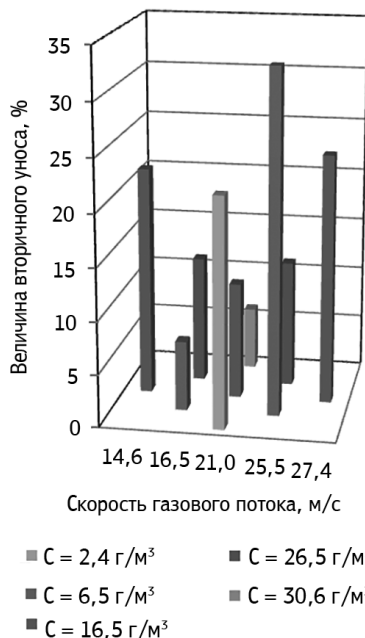


Рис. 4. Зависимость величины вторичного уноса от скорости газа при различных начальных концентрациях золы в потоке газа при сухом режиме работы электроциклона

нирующий электрод и выше 99 % при подаче напряжения 17 кВ на коронирующий электрод.

Вследствие вторичного уноса степень очистки снижается на 5–30 %.

1. Lim K. S., Kim H. S., Lee K. W. Comparative performances of conventional cyclones and a double cyclone with and without an electric field. *J. of Aerosol Sciences*. 2004, 35(1): 103–116. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2003.07.001
2. Tsai R., Mills A. F. A model of particle re-entrainment in electrostatic precipitators. *J. of Aerosol Science*. 1995, 26(2): 227–239. DOI: 10.1016/0021-8502(94)00102-5.
3. Xiangrong Z., Lianze W., Keqin Z. A simple criterion for particle-wall adhesion in a wire-plate electrostatic precipitator. *J. of Aerosol Sciences*. 2005, 36(3): 411–417. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2004.09.008.
4. Titov A. G., Gil'vanova Z. R., Inyushkin N. V., Ermakov S. A., Shchelchikov I. P., Aitova A. I., Man'kov M. G., Tokareva N. A., Perfilov S. A. Efficiency of Electrostatic Cyclone Operation. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2014, 49(9–10): 655–659. DOI:10.1007/s10556-014-9814-0.